



УДК УДК 581.526; 528.8

## Многолетняя динамика площади зарастания прибрежно-водной растительностью оз. Воже

**ФИЛОНЕНКО**

Игорь Владимирович

Вологодская лаборатория ФГБНУ "ГосНИОРХ",

*igor\_filonenko@mail.ru*

**КОМАРОВА**

Александра Сергеевна

Вологодская лаборатория ФГБНУ "ГосНИОРХ",

*komarowa.aleks@yandex.ru*

### Ключевые слова:

прибрежно-водная растительность  
озеро  
геоинформационная система (ГИС)  
данные зондирования Земли (ДЗЗ)  
неконтролируемая классификация  
изокластеров

### Аннотация:

Целью данного исследования было методами пространственного анализа на основе космических снимков выявить многолетние тенденции в процессе зарастания прибрежно-водной растительностью акватории оз. Воже. Результат работы использовать как тематическую карту основных растительных группировок для верификации в полевых условиях. Анализ снимков за период с 1976 по 2014 гг. показал, что зарастание акватории оз. Воже гелофитами не изменилось. Прибрежно-водная растительность ежегодно развивается на одних и тех же участках. Состав доминирующих видов основных фитоценозов с годами не меняется. Тенденции к увеличению площади зарастания гелофитами не обнаружено. Площадь акватории озера, зарастающая гелофитами, составляет 10.7 %. Результаты классификации распределения растительности оз. Воже являются основой для проведения гидробиологических исследований и анализа рыбохозяйственной ценности водоема.

© 2015 Петрозаводский государственный университет

Рецензент: С. Р. Знаменский

Получена: 28 ноября 2015 года

Опубликована: 15 марта 2016 года

### Введение

Данные о флоре оз. Воже немногочисленны. Комплексное изучение этого водоема было проведено Институтом озероведения РАН в 1972–1975 гг. [Гидробиология озер..., 1978]. По материалам этих исследований составлена карта-схема зарастания оз. Воже [Распопов, 1978]. Информации о современном состоянии распределения прибрежно-водной растительности на оз. Воже нет. В тоже время, степень зарастания водоема может свидетельствовать о трофическом статусе водного объекта, а динамика изменения проективного покрытия – о скорости сукцессии водоема. Кроме того, различные сообщества водной растительности формируют определенный состав гидробионтов, а уровень развития прибрежно-водных растений определяет условия нереста рыб. Представление о степени развития сообществ прибрежно-водной растительности по акватории позволяет проводить количественный анализ фитофильной фауны для водоема в целом.

В качестве объекта исследований выбраны сообщества прибрежно-водной растительности оз. Воже. Выяснялась степень развития воздушно-водных растений по акватории водоема в многолетнем аспекте. Целью данного исследования было выявить многолетние тенденции в процессе зарастания

прибрежно-водной растительностью акватории оз. Воже методами пространственного анализа на основе космических снимков. Результат работы можно использовать для зонирования акватории озера при проведении ресурсных исследований.

## **Материалы**

В работе оценивалась степень развития прибрежно-водной растительности оз. Воже. Озеро располагается на севере Вологодской области. По данным государственного водного реестра (Государственный водный..., 1915), площадь акватории составляет 416 км<sup>2</sup>, площадь бассейна – 6260 км<sup>2</sup>. Длина озера – 48 км, средняя ширина – 9 км. Глубина не превышает 5 м, средняя глубина – 1.4 м (Веселова, 1979). Наибольшие глубины отмечаются в южной части озера, северная часть мелководна. Цветность воды оз. Воже в период с 1962 по 2006 гг. колебалась от 12° до 290°, а средний показатель для августа и сентября составлял 78° (Борисов, 2006). В этих пределах находится цветность в течение последних десяти лет. На севере, через р. Свидь, озеро соединяется с оз. Лача. Заболоченность водосборов в среднем составляет 15%. Южная половина озера занята илами с глубиной отложений до 2 м. Грунты северной части песчано-глинистые. Водосбор озера практически не освоен, антропогенная нагрузка сводится к туризму и рыболовству.

Для работы с пространственными показателями и классификации данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) использован программный пакет ArcGis 10. Материалом для исследования стала серия снимков спутника Landsat из каталога данных Геологической службы США (USGS Global Visualization Viewer, 2015) за период с 1973 по 2014 гг. на район оз. Воже. Анализировали данные мультиспектральной съемки, используя различные комбинации каналов. Для определения уреза воды на момент половодья основным источником были снимки LE71780182010133ASN00 и LM21930181976145 каталога USGS. Развитие прибрежно-водной растительности по акватории озера оценивалось по снимкам LM21940181976254GDS03, LM51790181985223AAA03 имеющим разрешение 60-метров, и снимкам LT51790181999214KIS00, LT51790182007236MOR00, LC81790182014223LGN00 разрешением 30 метров каталога USGS. Для оценки изменений зарастания отдельных участков акватории использованы инструменты пространственного анализа растров из группы «Наложение» (Overlay) пакета ArcGis (Обзор группы..., 2015). Для этого результат каждого из классифицированных изображений накладывался друг на друга, благодаря чему определялась зона, максимально вариабельная по развитию гелофитов и зона общая для всех.

Для дешифрирования снимков использовались данные собственных полевых исследований, полученные во время сбора гидробиологического материала за период 2007–2015 гг. Границы массивов прибрежно-водной растительности и участки открытого мелководья без растений фиксировались с помощью GPS-навигатора (рис. 1). Каждой станции соответствует несколько точек GPS-навигатора с основными растительными группировками и участком открытой водной поверхности, которые сопоставлялись с ДЗЗ.

С учетом экологических особенностей прибрежно-водной растительности в анализ были включены водно-болотные и полупогруженные растения. Полностью погруженные в воду растения в процессе дешифрирования не выделялись. Растения с плавающими на поверхности воды листьями в оз. Воже не образуют значительных зарослей (Распопов, 1978) и так же не учитывались при классификации. Таким образом, основным объектом при классификации снимков ДЗЗ были гелофиты (Распопов, 1977). В данном случае – воздушно-водные растения, у которых часть побегов находится в воде, а часть располагается над водной поверхностью. Ряд видов может произрастать и вне воды. Такие растения являются промежуточной группой между водными и сухопутными растениями.

Анализ результатов классификации снимков Landsat проводился по зонам: зона 1– северный участок побережья (исток р. Свидь); зона 2 – северо-восточный участок побережья; зона 3 – восточный участок побережья (заливы в устьях рр. Вожега, Укма и Кустома); зона 4 – юго-восточный участок побережья; зона 5 – южный участок побережья (заливы в устьях рр. Модлона, Вондонга и Евжа); зона 6 – западный участок побережья; зона 7 – участок акватории оз. Еломское; зона 8 – северо-западный участок побережья; зона 9 – район о. Спас. По урезу воды протяженность зон определялась на основании морфологических особенностей береговой линии оз. Воже., а в ширину зона очерчена границами максимального развития гелофитов, полученной по сумме классифицированных снимков. Ввиду сложности отображения на рис. 1 граница зон, расположенная в акватории, нанесена схематично.



Рис. 1. Схема станций наблюдений на оз. Воже и зон оценки зарастания растительности

Fig. 1. Scheme of observing stations on the shores of the Lake Vozhe and zones for the analysis of classification results of the vegetation

## Методы

С помощью снимков ДЗЗ на момент половодья и показателей водомерного пункта ЦГМС на оз. Воже и в р. Вожега был определен максимальный уровень воды в оз. Воже в период 1973–2014 гг., который приняли как границу распространения прибрежно-водной растительности. Растительность вне зоны затопления водоема из анализа была исключена.

Для анализа проектного покрытия гелофитами акватории в период 1973–2014 гг. проведен выбор малооблачных снимков Landsat. Выбирались снимки с максимальным уровнем развития прибрежно-водной растительности с периодом от 7 до 13 лет. Использованы ДЗЗ на следующие даты: 10 сентября 1976 г., 11 августа 1985 г., 2 августа 1999 г., 24 августа 2007 г., 11 августа 2014 г. Классификация выбранных снимков для оценки площади зарастания гелофитами акватории оз. Воже проводилась инструментами «Изокластер» (Iso Cluster) из пакета ArcGis методом максимального подобия (Maximum Likelihood Classification) (Неконтролируемая классификация..., 2015). Обработке подвергались три канала в диапазоне видимого спектра, выделялось 9 классов пикселей. Затем классы, не относящиеся к открытой водной поверхности, объединялись и рассматривались как зона зарастания прибрежно-водной растительностью.

## Результаты

Максимальная площадь акватории оз. Воже за период с 1976 г. по настоящее время на момент паводка составила 436 км<sup>2</sup>. В границах этой площади доля развития гелофитов изменялась от 9.1% до 11.5 % (табл. 1). Наибольшая площадь развития гелофитов на водоеме отмечена в 1976 и 2014 гг., когда она несколько превышала 50 км<sup>2</sup>. Группировки прибрежно-водной растительности развиваются достаточно равномерно вдоль всей береговой линии с увеличением площади в устьях рек. Крупные группировки растительности регулярно образуются по северо-восточному побережью до р. Свиль и вдоль западного берега о. Спас. Растительность северо-западного побережья озера развивается менее интенсивно. Наиболее значительные изменения в степени зарастания гелофитами отмечаются в устьевых участках рр. Чепца, Тордокса, Вожега, Укма, Кустома, Евжа и Модлона. Уровень зарастания оз. Воже гелофитами в различные годы представлен на рис. 2.

Таблица 1. Площадь зарастания гелофитами оз. Воже по снимкам Landsat

Table 1. The area of helophytes on Vozhe lake on the Landsat imagery

Год сцены ДЗЗ	1976 г.	1985 г.	1999 г.	2007 г.	2014 г.
Площадь, км <sup>2</sup>	50.00	43.74	39.79	48.70	50.15
Доля от всей акватории, %	11.47	10.03	9.12	11.17	11.50

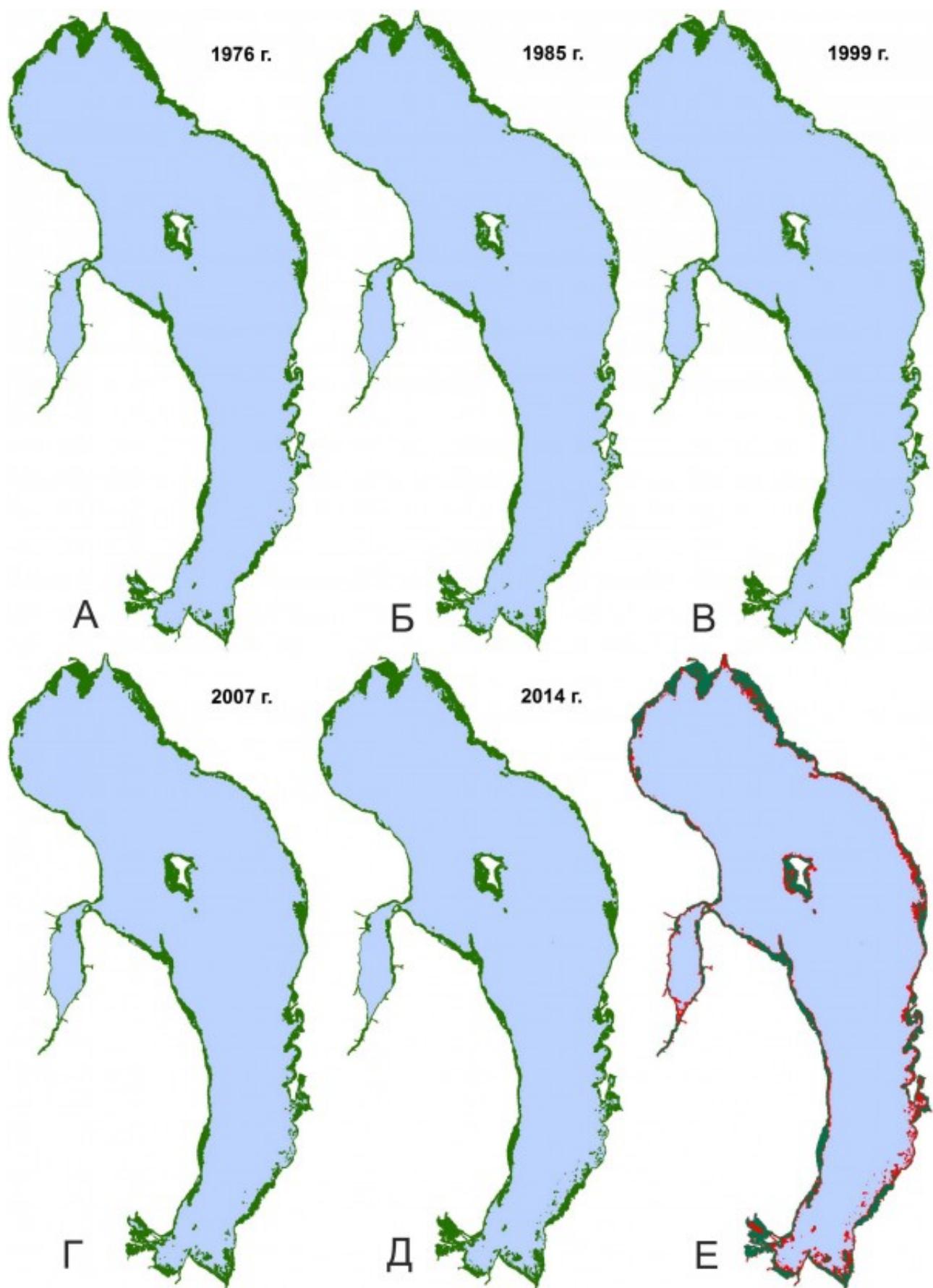


Рис. 2. Развитие гелофитов на оз. Воже. А, Б, В, Г, Д – распределение растительности по годам; Е – зеленым цветом показана зона зарастания общая для всех снимков, красным цветом показана зона

зарастающая периодически

Fig. 2. Distribution of helophytes in the Lake Vozhe. A, Б, В, Г, Д - distribution of vegetation by years; Е - overgrowing zone, common for all the images is in green, in red is given the zone of periodic overgrowing

За анализируемый период средняя площадь акватории озера, зарастающая гелофитами, составила 46.5 км<sup>2</sup>. Развитие прибрежно-водной растительности этого мелководного водоема в равной степени определяется характером грунтов и волновой активностью. Анализ серии ДЗЗ показал, что многолетние колебания общей площади зарастания в годы с максимальным уровнем развития на оз. Воже незначительны (табл. 1). За 40-летний период наблюдений не обнаруживается какой-либо тенденции к увеличению площади развития гелофитов. В то же время, заметное увеличение степени зарастания прибрежно-водной растительности за короткий временной период могло свидетельствовать об ускоренном процессе эвтрофирования водоема. В данном случае, на примере гелофитов, такого не наблюдается. Возможно, иную ситуацию покажет уровень зарастания всего комплекса водной растительности. К сожалению, на данный момент учет всех типов растительности такого крупного водоема, как оз. Воже, представляется затруднительным. Визуальные наблюдения на постоянных участках позволяют нам говорить, что ситуация с полностью погруженными видами растений аналогична гелофитам – заметного увеличения плотности и площадей не наблюдается. Здесь надо учитывать, что оз. Воже является рыбопромысловым водоемом, где на открытой воде активно применяется лов плавными сетями.

Сравнение серии снимков ДЗЗ за период с 1976 г. по настоящее время дает однотипную картину распределения гелофитов по акватории. Степень развития по годам в основном обусловлена колебанием уровня воды – в маловодные годы уровень развития гелофитов возрастает. Заболоченные территории, окружающие оз. Воже не позволяют полностью обсыхать пойменным участкам, и гелофиты имеют условия для развития в течение всего вегетационного сезона. Полностью погруженные виды растений на осушенных мелководьях массово погибают.

Анализ зарастания прибрежно-водными растениями по отдельным участкам оз. Воже представлен в табл. 2 и на рис. 4. Наиболее изменчивым по зарастанию оказалось восточное побережье озера. Массивы тростника вдоль берега образуют полосу шириной до 250 метров. В целом же год от года ширина зарослей растений меняется в пределах от 150-300 м. В районе впадения р. Тордокса площадь зарастания может изменяться более чем в пять раз. Береговая линия оз. Воже имеет значительную протяженность, а условия литорали в разных частях водоема сильно отличаются. Восточное побережье изобилует глубокими заливами с большим количеством иловых отложений, в то время как западный берег образует относительно прямую береговую линию, а в центральной части имеет крупные каменистые гряды. Вдоль этого берега ширина зарослей в среднем меняется в пределах 70-150 метров, а постоянные массивы развиваются вглубь озера еще до 200 метров. В значительной степени колеблется площадь гелофитов вокруг единственного на водоеме острова – о. Спас. Площадь зарослей развивающихся постоянно составляет 1.94 км<sup>2</sup>, а площадь, на которой растительность формируется в отдельные годы, достигает 2.04 км<sup>2</sup>. Зарастание устьевых участков сильно меняется как по площади, так и по составу растительных группировок. Условия, формирующиеся в районе впадения рек, наиболее многообразны. Здесь же наблюдается и высокое разнообразие водной растительности (Распопов, 1978). Площадь ежегодно развивающихся зарослей гелофитов в устье р. Вожега составляет 0.33 км<sup>2</sup>, в то время как площадь изменчивой части – 0.45 км<sup>2</sup>. Пространственный анализ снимков, использованных в работе, показал, что общая площадь ежегодно зарастающей зоны составляет 31.45 км<sup>2</sup>, а зона с периодическим развитием гелофитов составляет 29.33 км<sup>2</sup> (рис. 2, Е). Последнюю зону можно выделить только методами пространственного анализа, а ее картографическое представление должно стать одной из основ выявления экологических факторов, обуславливающих неравномерное развитие растительности.

Таблица 2. Многолетняя динамика зарастания прибрежно-водными растениями отдельных зон оз. Воже

Table 2. The long-term dynamics of overgrowing of coastal water plants on separate areas of lake Vozhe

Год анализа	Площадь акватории озера с прибрежно-водной растительностью, км <sup>2</sup>								
	зона 1	зона 2	зона 3	зона 4	зона 5	зона 6	зона 7	зона 8	зона 9
1976 г.	6.48	11.41	4.50	2.32	6.59	7.96	2.93	4.47	3.35
1985 г.	5.73	8.10	3.86	1.91	6.60	7.50	2.90	4.20	2.94
1999 г.	5.13	7.04	3.89	2.04	6.31	6.37	3.24	3.46	2.31
2007 г.	5.87	9.44	5.54	2.56	7.02	7.78	2.69	4.21	3.59

2014 г.	5.74	10.07	5.46	2.90	7.64	7.86	2.79	3.97	3.72
Средняя	5.79	9.21	4.65	2.35	6.83	7.49	2.91	4.06	3.18
Стандартное отклонение	0.48	1.70	0.82	0.40	0.52	0.65	0.21	0.38	0.57
Дисперсия	0.23	2.89	0.67	0.16	0.27	0.42	0.04	0.14	0.33
Площадь зоны	6.81	12.34	6.47	3.47	8.95	9.19	4.33	5.22	4.04

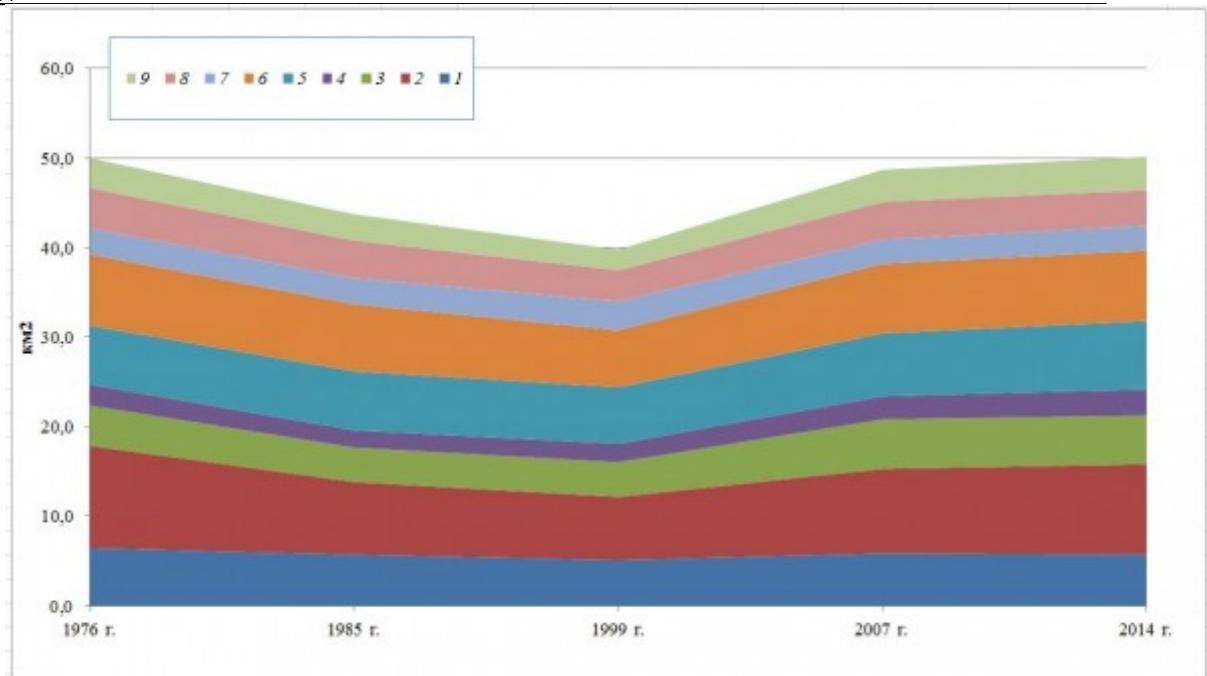


Рис. 3. Многолетняя динамика зарастания прибрежно-водными растениями отдельных зон оз. Воже. 1-9 – номера зон

Fig. 3. Long-term dynamics of overgrowing separate areas of the Lake Vozhe with coastal aquatic vegetation. 1-9 – zone numbers

## Обсуждение

Первые исследования флоры водоема с указанием до 38 видов высшей водной растительности приводят площадь зарастания оз. Воже в 76 км<sup>2</sup> или 18.3 % акватории (Распопов, 1978). Среди всех малооблачных ДЗЗ, используемых в нашей работе, к этому временному периоду ближе всего относится снимок 1976 г. Результаты классификации последнего позволили оценить площадь зарастания гелофитами в 50 км<sup>2</sup> (11.5%). Различие в оценках обусловлено, как выбором объекта исследования (в нашем случае рассматривались только гелофиты), так и методами (в исследованиях 1972-1975 гг. применялась аэровизуальная съемка с самолета АН-2). Можно предположить, что разница в показателях площади зарастания, полученная по разным методикам, будет в какой-то степени характеризовать неучтенную долю полностью погруженной водной растительности при классификации ДЗЗ.

Используемые в исследовании снимки малого пространственного разрешения, безусловно, дают более обобщенную картину зарастания, нежели аэрофотосъемка и снимки с высоким разрешением. Достоинством использованных снимков является наличие широкой полосы обзора и хорошие возможности для дешифрирования за счет комбинаций спектральных каналов. Первый фактор

имеет большое значение при интерполяции данных с описанием контрольных участков – так можно получить сцену ДЗЗ с покрытием на весь водоем. Комбинация различных каналов позволяет выбрать более контрастное отображение интересующих растительных сообществ. Кроме того, снимки низкого пространственного разрешения получены спутником Landsat за длительный период времени и находятся в свободном доступе.

Использование методов классификации снимков Landsat часто применяется в отношении лесной растительности, но для водоемов – редко. Вероятно, удовлетворительный эффект при оценке зарастания водоемов может быть достигнут только на озерах с достаточно большой площадью и сплошным поясом прибрежно-водных растений. Например, в Вологодской области подобный анализ возможен на двух крупных озерах – оз. Кубенском и оз. Белом. Участки водных объектов, на которых водная растительность развивается ежегодно, и зона открытого мелководья будут иметь заметные отличия в показателях планктона, бентоса и, как следствие, ихтиофауны. Для многих мелководных озер Северо-Запада России степень зарастания прибрежно-водной растительностью обусловлена сезонными колебаниями уровня воды, а пространственные параметры этой зоны могут дать представления о возможностях воспроизводства фитофильных видов рыб на водоеме.

## **Заключение**

Зарастание акватории оз. Воже гелофитами за последние сорок лет однообразно. Прибрежно-водная растительность ежегодно развивается на одних и тех же участках. Наиболее вариабельной частью по зарастанию являются участки восточного побережья озера и литоральная зона о. Спас. Наиболее стабильно развивается растительность в акватории оз. Еломское. Четкого тренда к увеличению площади зарастания гелофитами не обнаружено. По оценке снимков Landsat площадь акватории озера, застраивающая гелофитами, составляет 10.7 %.

Несмотря на повышение разрешения снимков до 15 метров, имеющийся объём полевых наблюдений не позволил разделить классы, полученные при классификации ДЗЗ, по видовому составу растений. Сообщества прибрежно-водной растительности на оз. Воже образуют различные сочетания по плотности и видовому составу. Эти группировки формируют основные классы на дешифрируемом снимке, для верификации видового состава которых необходимы дополнительные исследования с описанием фитоценозов водной растительности. Вероятно, более эффективным будет мелкомасштабное картирование локальных участков размером до 10 км<sup>2</sup>. В тоже время, полученное зонирование акватории озера на участки с открытой водой, постоянным и периодическим развитием растительности являются основой для проведения гидробиологических исследований и анализа рыбохозяйственной ценности водоема.

## **Библиография**

Борисов М. Я. Особенности функционирования системы «водосбор – озеро Воже» и ее влияние на рыбное население: [Features of functioning of the system "catchments - lake Vozhe" and its impact on the fish population] Дис. ... канд. биол. наук. Вологда, 2006. 242 с.

Гидробиология озер Воже и Лача. [Hydrobiology of the Lakes Vozhe and Lacha.] Л.: Наука, 1978. 275 с.

Государственный водный реестр. URL: <http://textual.ru/gvr/> / State Water Register

Веселова М. Ф. Природные особенности озер Воже и Лача [The natural features of the Lakes Vozhe and Lacha] // Гидрология озер Воже и Лача (в связи с переброской северных вод в бассейн р. Волги). Л.: Наука, 197. С. 5–11. /

Неконтролируемая классификация изокластера. [Unsupervised classification of isocluster.] URL: <http://resources.arcgis.com/ru/help/main/10.1/index.html#/009z000000pn00000> (дата обращения: 15.11.2015)

Обзор группы инструментов Наложение [Review groups the tools Overlay.] URL: <http://resources.arcgis.com/ru/help/main/10.1/index.html#/na/000800000009000000/> (дата обращения: 15.11.2015)

Распопов И. М. Макрофиты, высшие водные растения (основные понятия). [Macrophytes, higher aquatic

plants (basic concepts).] // Тез. 1 Всесоюzn. конф. «Высшие водные и прибрежно-водные растения». Борок, 1977.

Распопов И. М. Высшая водная растительность озер Воже и Лача [Higher aquatic vegetation of the Lakes Vozhe and Lacha.] // Гидробиология озер Воже и Лача. Л.: Наука, 1978. С. 12-27.

USGS Global Visualization Viewer. URL: <http://glovis.usgs.gov> (дата обращения: 15.11.2015)

# Long-term dynamics of overgrowing area with coastal aquatic vegetationin in the Lake Vozhe

**FILONENKO  
Igor**

*State Research Institute of Lake and River Fisheries,  
igor\_filonenko@mail.ru*

**KOMAROVA  
Aleksandra**

*State Research Institute of Lake and River Fisheries,  
komarowa.aleks@yandex.ru*

## **Keywords:**

coastal aquatic vegetation  
lake  
geographic information system GIS  
sensing data of the Earth  
IsoCluster Unsupervised Classification

## **Summary:**

The aim of the research was to reveal the long-term trends in overgrowing the Lake Vozhe with coastal aquatic vegetation using the methods of spatial analysis based on satellite imageries. The results are to be used as a preliminary map for the verification of plant groups in the field conditions. The analysis of the images obtained from 1976 to 2014 showed that the area of the lake basin overgrown with helophytes had not changed. Coastal aquatic vegetation annually develops in the same areas. The composition of the dominant species of the main plant groups was the same for several years. The trend to increasing the area of overgrowing with helophytes was not found. The area of the lake that is overgrown with helophytes is 10.7%. The received classification of distribution of the vegetation in the Lake Vozhe are the basis for hydrobiological researches and the analysis of the fishery value of the water reservoir.

## **References**

Borisov M. Ya. Features of functioning of the system "catchments - lake Vozhe" and its impact on the fish populationDip. ... kand. biol. nauk. Vologda, 2006. 242 p.

Hydrobiology of the Lakes Vozhe and Lacha.L.: Nauka, 1978. 275 p.

Gosudarstvennyy vodnyy reestr. URL: <http://textual.ru/gvr/>, State Water Register

Veselova M. F. The natural features of the Lakes Vozhe and Lacha, Gidrologiya ozer Vozhe i Lacha (v svyazi s perebroskoy severnyh vod v basseyn r. Volgi). L.: Nauka, 197. P. 5-11.

Unsupervised classification of isocluster. URL:  
<http://resources.arcgis.com/ru/help/main/10.1/index.html#/009z000000pn000000> (data obrascheniya: 15.11.2015)

Review groups the tools Overlay.URL:  
<http://resources.arcgis.com/ru/help/main/10.1/index.html#/na/000800000009000000> (data obrascheniya: 15.11.2015)

Raspopov I. M. Macrophytes, higher aquatic plants (basic concepts)., Tez. 1 Vsesoyuzn. konf. «Vysshie vodnye i pribrezhno-vodnye rasteniya». Borok, 1977.

Raspopov I. M. Higher aquatic vegetation of the Lakes Vozhe and Lacha., Gidrobiologiya ozer Vozhe i Lacha. L.: Nauka, 1978. P. 12-27.

USGS Global Visualization Viewer. URL: <http://glovis.usgs.gov> (data obrascheniya: 15.11.2015)